

### Список литературы

1. Шумяцкий Ю.И., Афанасьев Ю.М. *Адсорбция: процесс с неограниченными возможностями*.— Москва: Высш. шк., 1998.— С.78.
2. Yang R.T. *Gas Separation by Adsorption Process*.— Boston: Butterworths, 1987.— P.35.
3. Павлова И.Н., Илибаев Р.С., Травкина О.С., Кутенов Б.И. // *ЖПХ*, 2011.— №5.— С.752–755.
4. Pirngruber G.D., Raybaud P., Belmabkhout Y. // *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2010.— №12.— P.13534–13546.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОВОЙ СРЕДЫ НА МАТЕРИАЛ, ПОЛУЧЕННЫЙ С ПОМОЩЬЮ КОАКСИАЛЬНОГО МАГНИТОПЛАЗМЕННОГО УСКОРИТЕЛЯ

А.И. Циммерман, Ю.Л. Шаненкова, М.И. Гуков  
Научный руководитель — д.т.н., профессор А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, [alexsimmer@yandex.ru](mailto:alexsimmer@yandex.ru)

Оксид алюминия является широко используемым материалом за счет своих привлекательных механических свойств: высокие твердость, прочность и износостойкость [1–3]. Благодаря этим свойствам Al–O находит применение в различных областях техники и медицины [3].

Получают оксид алюминия различными методами, например, промышленным методом Байера [4], газофазным [5] и лазерным [6]. Однако данные методы не удовлетворяют требованиям по высокой химической чистоте, а также сложны и многостадийны.

Метод плазмодинамического синтеза (ПДС) на основе импульсного сильноточного коаксиального магнитоплазменного ускорителя (КМПУ) эрозионного типа, изобретенный в НИ ТПУ, обладает следующими преимуществами: быстродействие, простота получения и экологичность технологии [7]. Простота метода заключается в использовании в качестве ствола трубы из алюминиевого сплава, в составе которой около 5 % магния, и при закачке в камеру-реактор газообразного прекурсора — кислорода, возможно получение уникальных фаз оксида алюминия. Синтез  $Al_2O_3$  осуществлялся за счет эрозии алюминиевого ствола. При протекании дуги по ускорительному каналу происходит наработка основного материала — алюминия, после чего он выносится в камеру, где вступает в плазмохимическую реакцию с кислородом, образуя требуемый продукт. В работе рассматриваются три опыта, в которых изменялись процентные содержания кислорода и аргона. В первом опы-

те содержание кислорода было 20 %, а аргона — 80 %, во втором и третьем опытах — 80 : 20 соответственно. Для получения более химически чистого продукта ПДС было предложено использовать систему с разделением продукта на крупную и мелкую фракцию — третий опыт.

Синтезированный таким методом продукт анализировался методами рентгеновской дифрактометрии (Shimadzu XRD 7000S) и просвечивающей электронной микроскопии (Philips CM 12).

В результате расшифровки рентгеновских дифрактограмм продуктов ПДС были идентифицированы следующие фазы: нестехиометричный оксид алюминия  $Al_{2,667}O_4$  (номер карточки: № 80–1385; модификация: cubic; пространственная группа: Fd-3m (no. 227); параметры решетки:  $a=7,94 \text{ \AA}$ ), шпинель  $MgAl_2O_4$  (номер карточки: № 72–6955; модификация: cubic; пространственная группа: Fd-3m (no. 227); параметры решетки:  $a=7,96 \text{ \AA}$ ) и алюминий Al (номер карточки: № 85–1327; модификация: cubic; пространственная группа: Fm-3m (no. 225); параметры решетки:  $a=4,04940 \text{ \AA}$ ). В первом опыте фаза Al преобладает относительно других фаз, однако при большей концентрации кислорода (второй и третий опыты) выход Al уменьшился. За счет применения конструкции с разделением продукта, удалось получить материал, состоящий из оксида алюминия (70 %) и шпинели (~28 %), а отражения фазы алюминия (~2 %) можно отметить на уровне следов. Образование шпинели не является недостатком, ввиду того, что присутствие

MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> положительно влияет на создание объемных образцов на основе оксида алюминия [1].

Результаты рентгеноструктурного анализа полученного материала мелкой фракции в третьем опыте подтверждаются данными просвечивающей электронной микроскопии. Были получены светлорельефные рисунки при разных увеличениях, а также дифракционная картина синтезированного продукта. Размер частиц данного продукта не превышает 250 нм. Электрон-

ная дифракция с выделенной области (SAED) в большинстве своем имеет точечно-кольцевой характер. Расшифровка ее результатов позволяет подтвердить синтез указанных выше фаз.

В работе экспериментально показана возможность получения синтеза нанодисперсного оксида алюминия в системе, основанной на использовании импульсного сильноточного КМПУ эрозионного типа.

### Список литературы

1. Ma B. et al. // *Ceramics International*, 2015.– V.41.– №2.– P.3237–3244.
2. Nastic A. // *Journal of Materials Science & Technology*, 2015.– V.31.– №8.– P.773–783.
3. Vorozhtsov A.B. et al. *Oxidation of nano-sized aluminum powders* // *Thermochimica Acta.*, 2016.– V.636.– V.48–56.
4. Green J.A. *Aluminum recycling and processing for energy conservation and sustainability*. ASM International, 2007.
5. Кортов В.С. // *Физика твердого тела*, 2008.– Т.50.– №5.– С.916–920.
6. Светличный В.А. // *Известия высших учебных заведений. Физика*, 2017.– Т.60.– №2.– С.157–158.
7. Sivkov A. // *Advanced Powder Technology*, 2016.– V.27.– №4.– P.1506–1513.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА ПЛАЗМООБРАЗУЮЩЕГО ГАЗА В МИКРОПЛАЗМЕННОМ РЕАКТОРЕ

А.А. Цхе

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Л.Н. Шиян

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, annu0393@mail.ru

Газовый разряд способен создать химически активную плазму, обеспечивающую необходимые условия для деструкции органических соединений и синтезирующую уникальные структуры. Это находит применение при разработке новых технологий водоподготовки для процессов биологической очистки воды.

В результате стремительного развития химической индустрии синтезированы тысячи органических соединений, среди которых особое место занимают фармацевтические препараты, попадающие в сточные воды. В настоящее время в биологической очистке сточной воды возникают проблемы, связанные с влиянием синтетической органики и лекарственных препаратов на жизнедеятельность активного ила.

Для обеспечения эффективной и стабильной работы активного ила должна проводиться предварительная подготовка стоков. Синтетическая органика и лекарственные препараты, среди которых особое место занимают антибиотики, необходимо подвергать деструкции, чтобы

предотвратить отрицательное влияние на биоценоз активного ила.

Одним из способов подготовки воды для биологической очистки могут служить процессы деструкции синтетической органики при действии СВЧ-разряда. Применение СВЧ-разряда обусловлено высокой энергетической эффективностью плазмохимических реакций, протекающих за счет колебательного возбуждения молекул вещества в неравновесной плазме [1, 2].

Целью настоящей работы явилось исследование состава плазмообразующего газа, влияющего на процессы деструкции органических веществ в плазме СВЧ-разряда при атмосферном давлении.

В качестве плазмообразующих газов были выбраны аргон и воздух. Использование в качестве плазмообразующего газа воздуха способствует накоплению в системе диоксида азота, образующего с водой две кислоты – азотную и азотистую. Диоксид азота переходит в азотную кислоту в присутствии кислорода по реакциям